

# An Agent Model for the Simulation of Electrical Vehicle Charging Management

Vitor Monteiro e João Afonso  
DEI – Universidade do Minho  
Guimarães, Portugal  
{vmonteiro e jla}@dei.uminho.pt

João C. Ferreira  
ADEETC - ISEL  
Lisboa, Portugal  
jferreira@deetc.isel.ipl.pt

*Abstract* — This work describes the impact of integrating electrical vehicles (EV) in the electrical energy network, through the simulation of the electrical consumption of residential users in the absence of intelligent management strategies such as Smart Grids. The study is composed by a first data analysis stage of three types of family (small, medium and large) and a second stage describing a scenario simulation of EV integration using the identified consumption profiles. This simulation evaluates the electrical network limitations and other factors influencing the EV charging. The main results achieved are the charging curves for the residential consumption identifying the available power for the EV. The user profiles obtained will enable studies for assuring not only charging at residences but also in other charging points.

*Keywords:* *Electrical Vehicles, Simulation, Intelligent Charging, Energy Management.*

## I. INTRODUÇÃO

A indústria automóvel está a atravessar um período de depressão profunda, sendo que a procura de veículos nos países industrializados está a cair e a taxa de crescimento em países em desenvolvimento está a abrandar rapidamente. As causas são a evidente crise actual, a subida dos custos do petróleo e a antevisão que a longo prazo ele será insuficiente [1]. Estas incertezas quanto à disponibilidade do petróleo e os novos requisitos legais, resultado de novas políticas ambientais, vão ter um impacto substancial no futuro tecnológico da indústria automóvel. Neste cenário, o veículo eléctrico (VE) apresenta-se como uma solução promissora existindo, no entanto, problemas relacionados com a gestão dos carregamentos e com as limitações de potência existentes na rede de distribuição eléctrica. Se num determinado bairro os condutores dos VEs ao retornarem do trabalho para casa ligarem o VE à tomada para carregar as baterias, a simultaneidade destes consumos provoca uma situação em que o sistema não é capaz de dar resposta à totalidade das necessidades do consumo de energia eléctrica. Este facto é tanto mais preocupante quanto maior for a percentagem de VEs no referido bairro. Este cenário encontra-se identificado na literatura [2], [3], [4], mas a falta de plataformas e cenários reais de carregamento dificulta a realização de trabalhos baseados em dados reais. Todavia, o tema foi abordado recentemente usando um conjunto de estimativas, e registado ao longo do tempo nos seguintes trabalhos [5], [6], [7]. Assim, a nossa proposta vai no sentido

de simulação onde um conjunto de parâmetros rígidos de consumo são alterados permitindo um estudo do comportamento dinâmico do sistema. Os principais objectivos do presente trabalho, que consistem na identificação de curvas típicas de consumo energético residencial ao qual se junta informação sobre os carregamentos de VEs tendo em conta a sua utilização diária, as limitações da rede de distribuição e os locais de consumo. Desta informação, tipificada num perfil de família (grande, média e pequena) e com base no historial de consumos, pretende-se simular os consumos energéticos domésticos (visto não existirem instaladas ferramentas de monitorização dos consumos) e a partir da localização geográfica determinar formas de curvas de carregamento que permitam usar a rede de distribuição eléctrica existente de forma eficiente. O presente trabalho vai usar uma ferramenta de simulação computacional baseada em “agentes”, que a partir de consumos padrão simula consumos baseados nas horas de chegada a casa e na disponibilidade energética da rede eléctrica, permitindo prever quais os melhores horários para o carregamento dos VEs, estabelecendo padrões de gestão para os consumidores e para a rede de distribuição eléctrica.

## II. REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉCTRICA

As redes de distribuição de energia eléctrica possibilitam o escoamento da energia eléctrica, recebida da rede de transporte, através das subestações e conduzem essa energia até às instalações que a consomem. Estas redes são constituídas por linhas aéreas de Alta Tensão ou Transporte (tensão igual ou superior a 60 kV), Média Tensão (tensão inferior a 60 kV, tipicamente 30 kV, 15 kV e 10 kV) e Baixa Tensão (tensões de 400 V e 230 V). Em grande parte são linhas aéreas, mas tem havido um aumento significativo de redes subterrâneas. Fazem parte das redes de distribuição as subestações, os postos de seccionamento, os postos de transformação, as ligações aos locais de consumo, as instalações de iluminação pública e outros equipamentos. Em Portugal Continental, a actividade de distribuição de energia eléctrica é efectuada maioritariamente por uma empresa – a EDP Distribuição – e também por algumas cooperativas de distribuição de energia eléctrica em Baixa Tensão. Para garantir uma operação segura e controlada de todo o sistema, os elementos da rede de distribuição são compostos, entre outros, por geradores, circuitos de comando, circuitos de controlo, circuitos de corte, seccionadores e disjuntores. A tensão, a frequência, a potência, o factor de

carga e a capacidade de todo o sistema de transmissão são desenhados para fornecer uma prestação economicamente eficiente aos clientes.

Quanto à estrutura ou topologia, a rede de distribuição de energia eléctrica pode variar consideravelmente. O desenho dessa rede é muitas vezes moldado de acordo com o terreno e a sua geologia. Por outro lado, a lógica da topologia pode variar dependendo de limitações económicas, requisitos de segurança do sistema e características da carga e da produção. Assim, tendo em conta estes factores, usualmente, dois tipos de topologia de rede são adoptados: radial ou interligada. Focando uma rede radial, a energia eléctrica é enviada de uma subestação para os pontos de entrega sem ligação a nenhum outro ponto de abastecimento. Esta configuração é usualmente utilizada em extensas áreas rurais com áreas isoladas de carregamento. Esta é a topologia mais simples e económica para uma rede de distribuição ou transmissão. Num formato em árvore, a energia eléctrica proveniente de grandes fontes de produção radia progressivamente para linhas de tensão mais baixa até chegar às casas e empresas de destino.

Tendo em conta a rede de distribuição do local em estudo, fez-se a geo-referenciação manual e passou-se para um grafo geo-referenciado usando uma ferramenta de grafos desenvolvida localmente. Esta ferramenta permite integrar a informação no simulador (ver secção 5), à qual juntamos as limitações de potências das casas e dos transformadores dos nós. É do entendimento dos autores que este tipo de ferramentas poderá ter grande potencial no planeamento das redes de distribuição porque permite juntar à rede existente, informação de consumos com a informação geográfica.

### III. SISTEMA DE TRACKING

Num projecto final de curso no ISEL – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa [8], foi desenvolvida uma aplicação de *tracking* dos movimentos de condutores em modo *offline*, para evitar custos de comunicação para os condutores. Os princípios gerais desta aplicação encontram-se ilustrados na Fig. 1. A aplicação designou-se por *GPS Tracker* e foi concebida para ser utilizada em dispositivos móveis, como o PDA, que possuam o sistema operativo *Android 1.6* ou superior. O objectivo desta aplicação é criar ficheiros GPX com o registo dos dados GPS (nomeadamente: latitude, longitude e velocidade instantânea) relativos aos percursos efectuados pelo utilizador. O utilizador tem ainda disponibilidade de observar em tempo real os dados que estão a ser recolhidos. A localização geográfica do utilizador pode ser obtida através do dispositivo de GPS, da informação que chega ao PDA disponibilizada pelas antenas celulares, ou então através de Wi-Fi. É possível a configuração de alertas/avisos relevantes, que entram em funcionamento, por exemplo, quando o número de ficheiros GPX armazenados ultrapassa o número definido pelo utilizador. O utilizador tem ainda a possibilidade de activar ou desactivar a opção de guardar os dados recolhidos num ficheiro GPX, escolher o intervalo de tempo assim como a distância máxima entre a recolha de dados GPS. O sistema permite consultar estatísticas sobre o percurso realizado, nomeadamente: (1) Duração do percurso efectuado; (2) Distância total percorrida; (3) Velocidade média; e (4) Data e hora do percurso efectuado. O sistema permite também

apresentar todos os parâmetros anteriores para a totalidade dos percursos do utilizador, obtendo deste modo os valores médios totais.

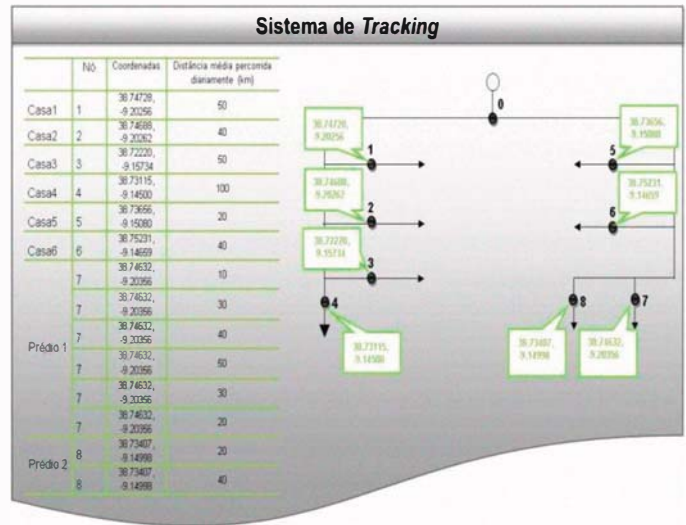


Fig. 1: Processo de Geo-Referencia da rede de distribuição eléctrica.

### IV. METODOLOGIA DA SIMULAÇÃO

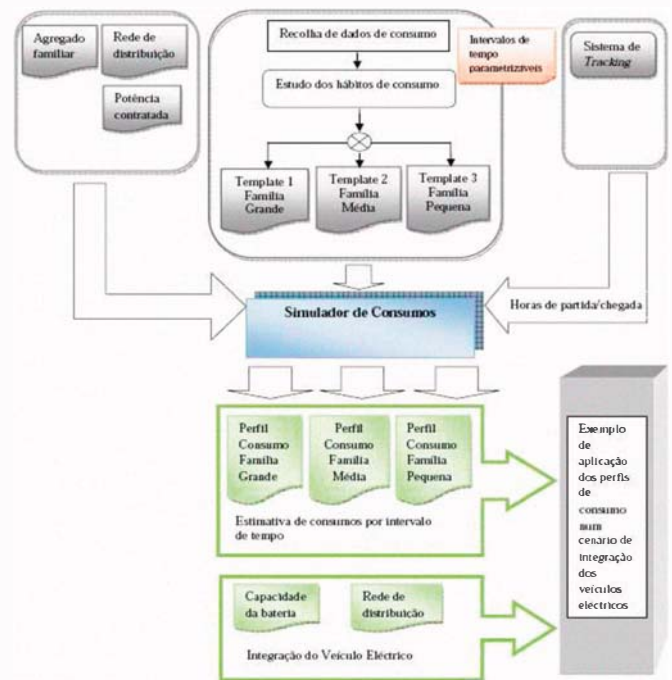


Fig. 2: Metodologia adoptada para a simulação.

De forma a estudar o consumo energético de diferentes tipos de famílias, bem como o impacto da integração dos VE na rede de energia eléctrica, foi implementado o modelo de simulação descrito neste item. Este modelo recebe informação relativa ao agregado familiar, a sua potência contratada e a rede de distribuição em causa, em paralelo com informação de um sistema de *tracking* que fornece as horas de partida/chegada a casa dos consumidores. Na posse desta informação são estudados os hábitos de consumo e obtidos os perfis para cada tipo de família. A metodologia adoptada para a simulação está

apresentada na Fig. 2. Agregado Familiar – Para o estudo do trabalho apresentado consideraram-se três tipos de família, compostas da seguinte forma: (1) Família Grande: dois adultos e duas crianças; (2) Família Média: dois adultos e uma criança; e (3) Família Pequena: um ou dois adultos.

Potência Contratada – Para os três tipos de famílias consideradas neste estudo, que são clientes em Baixa Tensão Normal (BTN), a potência contratada é definida por escalões e as instalações possuem um dispositivo (disjuntor) de controlo da corrente consumida pelas cargas da instalação, e deste modo controlam o consumo de potência eléctrica. A potência contratada para uma determinada instalação define o valor instantâneo máximo de potência eléctrica que essa instalação de consumo pode receber. O valor da potência contratada e o dimensionamento da instalação eléctrica estão intimamente ligados, assim como também o dimensionamento da rede eléctrica mais próxima da instalação.

#### A. Modelo de recolha de dados de consumo

Os hábitos de consumo são estudados com base em dois factores: (1) Quais os equipamentos utilizados pelos consumidores; e (2) Qual a potência consumida por esses equipamentos. De modo a saber quanto consome cada equipamento, utilizaram-se os dados que constam no simulador de potência a contratar da ERSE (Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos) [<http://www.erse.pt>]. Posteriormente foram realizados um conjunto de inquéritos na região de Lisboa, tendo sido escolhidas cinco famílias pequenas, cinco famílias médias e cinco famílias grandes que cumprissem os seguintes pré-requisitos: (1) Disponibilidade para preenchimento do questionário; (2) Fiabilidade nos dados fornecidos; (3) Número de pessoas do agregado familiar de acordo com o grupo de estudo associado; e (4) Rotina diária constante. A cada família foi entregue uma tabela (para maior detalhe ver referência [8]) onde deveriam anotar para cada hora (de 0 a 23), o equipamento que utilizaram e a quantidade (para o caso das lâmpadas). Durante uma semana, todos os dias de segunda-feira a domingo, cada utilizador preencheu o relatório dos seus consumos. Posteriormente, para cada tipo de família foi estabelecido um valor médio de consumo entre os cinco utilizadores, a fim de obter resultados indicativos por hora e por família, resultando assim *templates* de consumo por família.

#### V. SIMULAÇÃO – NETLOGO

A realização de simulações computacionais antes da implementação física dos problemas é uma realidade cada vez mais recorrente e mais importante porque não é fácil a criação de ambientes reais de teste. Com o investimento crescente nas simulações, e devido a estas se aproximarem cada vez mais da realidade, actualmente é possível realizar processos de simulação em que são testados os mais variados cenários e em que é possível inserir uma grande diversidade de variáveis no sistema combinando-as de todas as formas imaginárias o que permite prever de uma forma cada vez mais precisa o que irá acontecer quando for feita a implementação real. Desta forma, torna-se mais fácil concluir se essa implementação é viável, torna-se possível estudar os possíveis comportamentos e desempenhos do sistema e traçar uma estratégia concreta para cada um dos hipotéticos cenários.

Em computação, simulação consiste em empregar técnicas matemáticas em computadores com o propósito de imitar um processo ou operação do mundo real. Desta forma, para ser realizada uma simulação, é necessário construir um modelo computacional que corresponda à situação real que se deseja simular. Assim para o efeito usou-se o *NetLog* [<http://ccl.northwestern.edu/netlogo>], que é um ambiente de modelação programável para simular fenómenos naturais e sociais. Para o estudo apresentado neste trabalho cada “agente” representa uma família e com base nos *templates* de consumo identificados e nas horas de chegada/saída de casa criaram-se funções de consumo. Esta função de consumo usa a informação de consumo dos *templates* a qual junta uma função de incerteza (neste caso de probabilidade). Deste modo os valores de consumo vão ter variações, dados por esta função de incerteza. Foi implementado uma correlação entre a variação dos hábitos (chegada/partida) das famílias identificado pelo sistema de *tracking* e a amplitude das variações introduzidas pela função de incerteza.

#### VI. PRINCIPAIS RESULTADOS

O primeiro passo consistiu em estimar a potência eléctrica média consumida por habitação, e tendo em conta a potência contratada, determinar a potência eléctrica disponível para o carregamento do VE. A este factor juntamos a limitação da rede de distribuição, na qual um ramal dependente do transformador está, em média, limitado a 80 % das potências dos contratos estabelecidos nesse ramal. Assim, consoante a percentagem de VE existentes, podemos ter limitações adicionais. Do simulador obtiveram-se diversos resultados de consumo do qual ilustramos na Fig. 3 a distribuição energética para a família grande, e as curvas de potência eléctrica disponível para o carregamento do VE, relativas aos três tipos de famílias, na Fig. 4. Para mais detalhe de resultados ver [8], [9]. Os estudos foram orientados para simular consumos domésticos e de acordo com as distâncias médias percorridas determinar as formas de carregamento mais adequadas.

Relativamente à altura do dia onde se verifica uma maior quantidade de potência disponível para utilizar, compilaram-se os valores do consumo e verificou-se que durante a semana os intervalos ideais para o carregamento do veículo eléctrico seriam entre a uma e as seis horas da manhã (intervalo A) ou entre as nove e as dezasseis horas (intervalo B), ver Fig. 5. Já ao fim-de-semana, o ideal seria carregar o VE entre a uma e as oito horas (intervalo A) ou entre as catorze e as dezasseis horas (intervalo B), ver Fig. 6. Assim, para toda a semana foram identificados dois intervalos de tempo A e B, onde o consumo de potência eléctrica é mais baixo: durante a noite, quando as famílias estão a dormir; e durante o dia enquanto estão no local de trabalho e as crianças na escola, durante a semana, e a meio da tarde ao fim-de-semana. Se analisarmos as distribuições obtidas, e tendo em conta que o carregamento seria total e por isso necessitaria no mínimo de 7 horas seguidas, a altura propícia para o efectuar seria: (1) Entre as nove horas da manhã e as dezasseis horas durante a semana; e (2) Entre a uma e as oito horas da manhã, ao fim de semana.

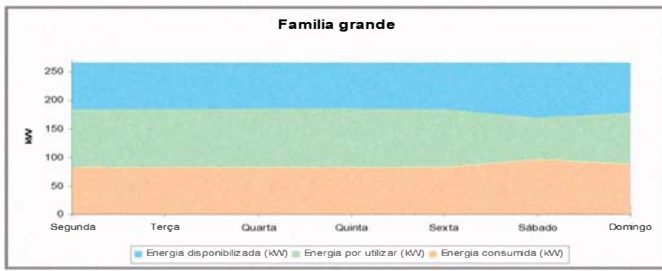


Fig. 3: Distribuição da potência eléctrica para a família grande.

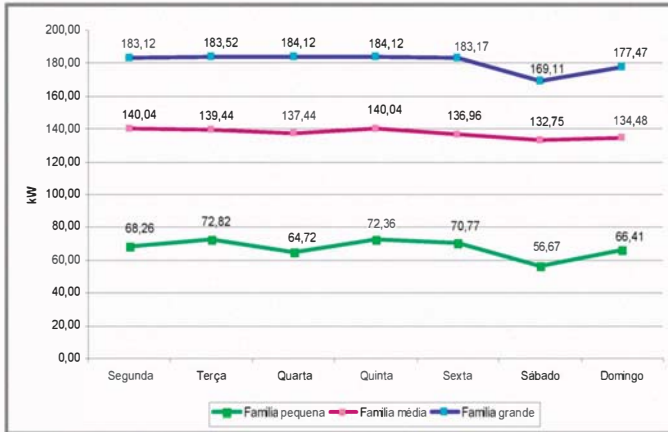


Fig. 4: Curvas de potência disponível para o carregamento do VE.

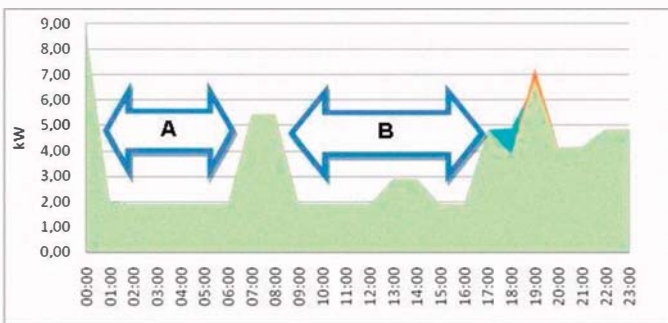


Fig. 5: Distribuição da potência eléctrica requisitada por todos os tipos de família de segunda a sexta-feira.

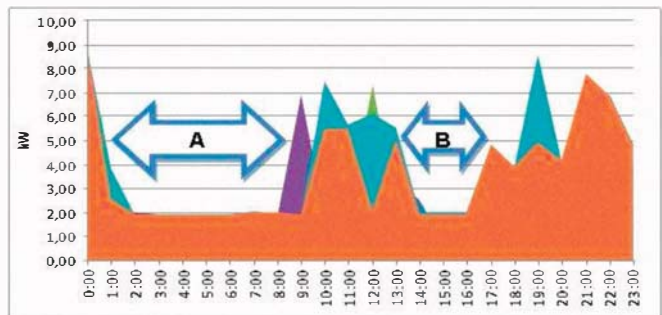


Fig. 6: Distribuição da potência eléctrica requisitada por todos os tipos de família ao fim-de-semana.

## VII. CONCLUSÕES

A adopção massiva do VE estará restringida a limitações da rede de energia eléctrica se não forem adoptadas medidas adicionais. Uma estrutura de controlo hierárquica poderá lidar

com este problema, permitindo a integração de um maior número de VEs e evitando investimentos monetários no reforço da rede de energia eléctrica. Adoptando uma abordagem de carregamento livre, a rede de distribuição eléctrica pode suportar apenas até os 10% do total de VEs na mesma zona residencial, sem necessidade de reforço da mesma. Estes são valores indicativos porque a rede varia de zona para zona e cada caso merece um estudo detalhado. No entanto, através de uma estratégia de carregamento inteligente é possível a integração de 75% dos VEs evitando qualquer reforço da rede. Um tipo de gestão como este fornecerá a forma mais eficiente de utilizar os recursos disponíveis a cada momento, como o excedente de produção de energias renováveis, prevenindo em simultâneo não só congestões de rede mas também assegurando o controlo do nível de tensão eléctrica. Este estudo é diferente de estudos anteriores porque foi simulado o comportamento dinâmico das necessidades energéticas usando como caso real três tipos de famílias. Assim, constatou-se o grande impacto que o carregamento residencial do VE pode ter. Se este for efectuado durante as horas de maior consumo, para além do risco de não existir suficiente energia eléctrica disponível, o aumento de escalão de potência contratada para garantir essa disponibilidade levará a ainda maior desperdícios de energia nas horas do dia de menor consumo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FCT (Fundação para a Ciência e a Tecnologia) e ao Programa MIT-Portugal, pelo financiamento do Projecto MIT-PT/EDAM-SMS/0030/2008.

## REFERÊNCIAS

- [1] G.Fournier, S.Haugrund, M.Terporten, "Vehicle to Grid," Federal Energy Regulatory Commission. Form 714, California Independent System Operator, Washington, DC: FERC, 2004.
- [2] J.A.P. Lopes, F.J.Souares, P.M.R.Almeida, "Integration of Electric Vehicles in the Electric Power System," Proceedings of the IEEE, vol.99, Issue 1, pp.168, January 2011.
- [3] L.Zhao, S.Prousch, M.Hubner, A.Moser, "Simulation Methods for Assessing Electric Vehicle Impact on Distribution Grids," IEEE PES Transmission and Distribution Conf and Exposition, 19 April 2010.
- [4] T.Markel, M.Kuss, M.Simpson, "Value of plug-in vehicle grid support operation," IEEE Conference on Innovative Technologies for an Efficient and Reliable Electricity Supply (CITRES), pp.325, Sept. 2010.
- [5] J.A.P.Lopes, F.J.Souares, P.M.Almeida, M.M.Silva, "Smart Charging strategies for Electric Vehicles: Enhancing Grid Performance and Maximizing the Use of Variable Renewable Energy Resources," EVS24, Stavanger, Norway, 13 May, 2009.
- [6] P.Bauer, Y.Zhou, J.Doppler, N.Stembridge, "Charging of electric vehicles and impact on the grid," MECHATRONIKA, 2010 13th International Symposium, pp.121-127, 2-4 June 2010.
- [7] V.Monteiro, J.C.Ferreira, G.Pinto, D.Pedrosa, J.L.Afonso, "iV2G Charging Platform," 13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Madeira, Portugal, pp.337, 19-22 Sep 2010.
- [8] J.Sousa, P.Santos, "MyTracking: Sistema de Tracking de Movimentos de Condutores de Veículos em modo 'off-line'" ISEL - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, PFC - Projecto Final de Curso, 2010
- R.Ramada, "V2G - Modelo de simulação," ISEL - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, PFC - Projecto Final de Curso, 2010.